



Effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on *Armillaria* root rot of pistachio seedlings under salinity stress

Mahboobeh Afrousheh¹, Naser Radman², Amir Hossein Mohammadi³,
Abdol Hossein Taheri⁴, Mehdi Fatemi⁵, Mahdi Pirnia⁶

1. Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: mahboobehafrousheh@gmail.com
2. Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: naserpanjehkeh@gmail.com
3. Corresponding Author, Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran. E-mail: ah-mohammadi@pri.ir
4. Department of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: a.taheri@gu.ac.ir
5. Department of Water and Soil, Deputy Planning Officer of Khorasan Razavi Agricultural Jihad Organization, Mashhad, Iran. E-mail: s.mehdi.fatemi@gmail.com
6. Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: pirmia@uoz.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Armillaria root rot and salinity are among the most significant biotic and abiotic stresses affecting pistachio orchards, resulting in substantial economic losses. Symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) can enhance plant tolerance to both salinity and soil-borne pathogens. This study evaluated the effect of inoculating a mixture of three AMF species (<i>Claroideoglomus etunicatum</i>, <i>Funnelliformis mosseae</i>, and <i>Rhizophagus irregularis</i>) on <i>Armillaria</i> root rot, growth performance, and biochemical traits of <i>Pistacia vera</i> cv. Ahmad-Aghaei seedlings under four salinity levels (0, 1200, 2400, and 3600 mg NaCl per kg of soil). AMF inoculation significantly increased shoot and root dry weight (56.7% and 94.1% respectively), leaf area (25%), plant height (11%), chlorophyll content (152.9%), proline (188.5%), and soluble sugars (99%) concentration compared to pathogen-inoculated plants in the highest salinity level. Although salinity significantly increased pathogen colonization and seedling mortality, AMF markedly reduced both parameters. At the highest salinity level (3600 mg NaCl/kg of soil), pathogen colonization decreased from 86.8% to 67.9%, and mortality declined from 93.8% to 68.8% in AMF-treated plants. Overall, the results demonstrate that AMF inoculation can effectively mitigate the adverse effects of salinity and enhance pistachio seedlings' tolerance to <i>Armillaria</i> root rot by improving growth and biochemical parameters, as well as reducing pathogen colonization.
Article history: Received: 27 March 2025 Revised: 31 May 2025 Accepted: 31 May 2025 Published online: Spring and Summer 2025	
Keywords: <i>Soil-borne diseases</i> , <i>Honey Fungus Rot</i> , <i>Rhizomorph</i> , <i>Symbiosis</i> .	
Cite this article: Afrousheh, M., Radman, N., Mohammadi, A. H., Taheri, A. H., Fatemi, M. & Pirnia, M. (2025). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on <i>Armillaria</i> root rot of pistachio seedlings under salinity stress. <i>Iranian Journal of Plant Protection Science</i> , 56 (1), 41-62. DOI: https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.399624.1007087	
© The Author(s). DOI: https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.399624.1007087	Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract Introduction

Salinity constitutes one of the most significant **abiotic stresses** in pistachio orchards, inflicting economic losses through both **direct** (disruption of physiological processes) and **indirect** pathways (by predisposing plants to plant pathogens and diminishing their tolerance).

Armillaria root and crown rot, caused by *Armillaria mellea*, is a major disease prevalent in the pistachio orchards of Kerman, Semnan, Tehran, and Isfahan provinces, and can result in tree mortality. The control of this disease is profoundly difficult and costly due to the broad **host range**, various ecological phases (pathogenic, saprophytic, and orchid-like symbiotic) of the pathogen, and the presence of rhizomorphs.

The application of **arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)** in various plants, including pistachio trees, is an increasingly prevalent strategy. This is due to its demonstrated role in enhancing host **resistance to soil-borne diseases** and improving tolerance to stresses such as **salinity** and **drought**. This symbiotic association plays a significant role in mitigating crop losses from diseases and reduces the environmental hazards associated with chemical pesticide usage.

Arbuscular Mycorrhizal (AM) fungi enhance plant tolerance to **biotic and abiotic stresses** through a multitude of mechanisms. These include the **improvement of growth, nutritional, and biochemical status** of the host plant, as well as the **activation of defense-related enzymes**.

In the present study, the effect of inoculation with a mixture of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on Armillaria root and crown rot of Ahmad-Aghaei pistachio seedlings under saline conditions was investigated for the first time.

Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with five replications under greenhouse conditions. Treatments included inoculation of a mixture of three arbuscular mycorrhizal fungi species (*Claroideoglomus etunicatum*, *Funneliformis mosseae*, and *Rhizophagus irregularis*), *Armillaria mellea* and four salinity levels (0, 1200, 2400, and 3600 mg NaCl per kg of soil). The inoculum of AMF was a perlite-based medium containing a minimum of 100 infective propagules per gram from each species in equal proportions. *Armillaria mellea* isolate (listed in the GenBank database on NCBI under the code OL377854) was isolated from infected pistachio trees in Sirjan. Seeds of pistachio (cv. Ahmad Aghaei) were planted in a substrate (mixture of sterile virgin soil and sand, 1:2 w/w) containing 5% (w/w) AMF propagules. After two months, NaCl solutions (0, 1200, 2400, and 3600 mg/kg soil) were gradually applied within one month via irrigation. For pathogen inoculation, the soil around each seedling was carefully removed to a depth of 15 cm, and two apple twigs colonized with *A. mellea* were placed near the roots of each seedling. Four months after pathogen inoculation, shoot and root dry weight, leaf area, plant height, total chlorophyll, proline content, soluble sugars, mycorrhizal colonization, root colonization percentage by *A. mellea* and seedling mortality rate were assessed. Data were analyzed using SAS (ver. 9.1), Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

Results and Discussion

The results demonstrated that inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) significantly increased shoot and root dry weight, leaf area, plant height, total chlorophyll, proline content, and soluble sugars compared to non-inoculated (control) and pathogen-inoculated plants (Arm) under both saline and non-saline conditions. In the absence of *A. mellea*, increasing NaCl concentration significantly reduced AMF root colonization in pistachio seedlings. At 3600 mg NaCl/kg soil, the percentage of colonized roots and root colonization length by AMF were 77.25% and 64%, respectively, showing a significant decrease compared to the non-saline treatment (90.75% and 98.25%). The same trend was observed in the presence of the pathogen treatment (AM+Arm). The percentage of colonized roots in the AM + Arm treatment was significantly lower than in the AM treatment at all salinity levels. However, root colonization length only showed a significant decrease at the highest NaCl concentration (3600 mg/kg), indicating the detrimental effects of combined salinity and pathogen stress on AMF colonization. The highest root colonization (86.8%) and seedling mortality (93.8%) caused by *A. mellea* were observed in the pathogen-inoculated treatment (Arm) at 3600 mg NaCl/kg soil, demonstrating the stimulatory effect of salinity on pathogen activity and disease severity. Although a similar trend was observed in the AM+Arm treatment, both root colonization and seedling mortality were significantly lower than in the pathogen treatment (Arm), clearly indicating the protective role of AMF in mitigating pathogen damage under both saline and non-saline conditions.

Conclusions

The enhancement of growth and biochemical characteristics in mycorrhizal seedlings, along with the competition between arbuscular mycorrhizal fungi and the pathogen for root colonization and access to energy resources, are among the key mechanisms that improve pistachio seedlings tolerance to *Armillaria* root rot under both saline and non-saline conditions. The results of this study can serve as an effective approach to mitigating the detrimental effects of salinity stress and enhancing pistachio seedlings tolerance to *Armillaria* root rot.

Author contribution

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability

The data will be made available on request.

Acknowledgement

This research was financially supported by the University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. We thank University of Tehran for providing research facility and support.

Conflict of interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



تأثیر مایه‌زنی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار بر پوسیدگی آرمیلاریایی ریشه نهال‌های پسته در شرایط تنش شوری

محبوبه آفروشه^۱ | ناصر رادمان^۲ | امیر حسین محمدی^۳ | عبدالحسین طاهری^۴ | مهدی فاطمی^۵ | مهدی پیرنیا^۶

۱. گروه بیماری شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: mahboobehafrousheh@gmail.com

۲. گروه بیماری شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: naserpanjehkeh@gmail.com

۳. نویسنده مسئول، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، رفسنجان، ایران. رایانامه: mohammadi@pri.ir

۴. گروه گیاهپزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: a.taheri@gau.ac.ir

۵. گروه آب و خاک، معاونت برنامه ریزی سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، مشهد، ایران. رایانامه: s.mehdi.fatemi@gmail.com

۶. گروه بیماری شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: pirmia@uoz.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰ تاریخ انتشار: بهار و تابستان ۱۴۰۴ کلیدواژه‌ها: بیماری‌های خاکزاد، پوسیدگی قارچ عسل، رازینومورف، همزیستی.	پوسیدگی آرمیلاریایی ریشه و شوری از مهمترین تنش‌های زنده و غیرزنده در باغ‌های پسته محسوب می‌شود که می‌توانند خسارت اقتصادی قابل توجهی را به همراه داشته باشد. همزیستی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار می‌تواند موجب افزایش تحمل گیاهان به شوری و عوامل بیماری‌زا گردد. در تحقیق حاضر، تأثیر مایه‌زنی مخلوط سه گونه قارچ‌ریشه آربوسکولار <i>Funneliformis mosseae</i>، <i>Claroideoglomus etunicatum</i>، <i>Rhizophagus irregularis</i> بر بیماری پوسیدگی آرمیلاریایی ریشه و طوقه، ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی نهال‌های پسته احمدآقای در چهار سطح شوری صفر، ۱۲۰۰، ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک بررسی شد. در بالاترین سطح شوری، مایه‌زنی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار توانست وزن خشک اندام هوایی، ریشه، سطح برگ، ارتفاع، غلظت کلروفیل، پرولین و قندهای محلول را به‌طور معنی‌داری به میزان ۵۶/۷، ۹۴/۱، ۲۵، ۱۱، ۱۵۲/۹، ۱۸۸/۵ و ۹۹/۱ درصد در مقایسه با گیاهان مایه‌زنی شده با بیمارگر افزایش دهد. گرچه شوری موجب افزایش معنی‌دار کلنیزاسیون بیمارگر در ریشه و مرگ و میر نهال‌های پسته گردید اما در حضور قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار، این دو ویژگی در کلیه سطوح شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری که در بالاترین سطح شوری، درصد کلنیزاسیون بیمارگر در ریشه از ۸۶/۸ به ۶۷/۹ درصد و مرگ و میر نهال‌ها از ۹۳/۸ به ۶۸/۸ درصد رسید. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که مایه‌زنی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار در ریشه نهال‌های پسته با بهبود ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی و کاهش کلنیزاسیون بیمارگر در ریشه، می‌تواند یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش اثرات مخرب شوری و افزایش تحمل نهال‌های پسته به پوسیدگی آرمیلاریایی باشد.

استناد: آفروشه، محبوبه؛ رادمان، ناصر؛ محمدی، امیرحسین؛ طاهری، عبدالحسین؛ فاطمی، مهدی و پیرنیا، مهدی (۱۴۰۴). تأثیر مایه‌زنی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار بر پوسیدگی آرمیلاریایی ریشه نهال‌های پسته در شرایط تنش شوری. نشریه دانش گیاهپزشکی ایران، ۵۶ (۱)، ۴۱-۶۲. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.399624.1007087>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.399624.1007087>

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) از محصولات استراتژیک و مهم در اقتصاد ایران است. سطح زیر کشت پسته در سال ۱۴۰۲، در ۳۱ استان کشور حدود ۶۰۰ هزار هکتار و میزان تولید آن حدود ۴۳۹ هزار تن گزارش شده است (Anonymous, 2023). شوری خاک در سال‌های اخیر به یکی از چالش‌های جدی کشاورزی در مناطق زیر کشت پسته در ایران و بسیاری از نقاط جهان تبدیل شده و بر تولید پسته تأثیر گذاشته است (Jamshidi Goharrizia et al., 2020). به‌طور کلی حدود یک میلیارد هکتار از اراضی جهان تحت تأثیر شوری بوده (Porcel et al., 2012) که باعث کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و زبانی بالغ بر ۲۷ میلیارد دلار در سال شده است (Wang et al., 2021). این تنش با ایجاد خشکی فیزیولوژیکی، اختلالات تغذیه‌ای، تخریب کلروپلاست، میتوکندری، غشاهای سلولی و کاهش فتوسنتز، موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Boorboori & Lacková, 2025). بنابراین، رویکرد کشاورزی نوین، افزایش تحمل گیاهان به شوری و استفاده بهینه از خاک‌های شور است (Soleimanian et al., 2016). شوری همچنین می‌تواند موجب افزایش شدت و شیوع بیماری‌های گیاهی شود (Mustapha et al., 2022). در این راستا، قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار با تغییرات فیزیولوژیکی در گیاهان میزبان، نقش مؤثری در افزایش مقاومت آن‌ها نسبت به تنش‌های محیطی و بیماری‌های گیاهی ایفا می‌کنند.

از آنجایی که تاکنون تحقیقی در مورد تأثیر قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار بر بیماری پوسیدگی آرمیلاریایی ریشه و طوقه پسته در شرایط تنش شوری انجام نشده و با توجه به اهمیت پسته از نظر اقتصادی و خسارت ناشی از این بیماری در کاهش تولید، این پژوهش با هدف ارزیابی مایه‌زنی مخلوط سه گونه قارچ‌ریشه آربوسکولار *Rhizophagus Funneliformis mosseae* و *Claroideoglossum etunicatum* بر افزایش مقاومت نهال‌های پسته رقم احمدآقایی به *Armillaria mellea* و بهبود شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی نهال‌ها در چهار سطح شوری اجرا شد.

پیشینه پژوهش

پوسیدگی آرمیلاریایی ریشه و طوقه یکی از بیماری‌های مهم در باغ‌های پسته ایران بوده که اولین بار در سال ۱۳۸۵ از درختان پسته دامغان جداسازی و عامل آن *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm گزارش شده است (Amirahmadi et al., 2006). جنس *Armillaria* (Basidiomycota, Agaricales, Physalacriaceae) با حدود ۵۰ گونه توصیف شده (Heinzelmann et al., 2019) و دامنه میزبانی وسیع (بیش از ۵۰۰ گونه گیاهی)، یک بیمارگر مهم و با انتشار وسیع، در جهان است (Devkota & Hammerschmidt, 2020).

در سال‌های اخیر، گسترش این بیماری موجب مرگ و میر قابل توجه درختان در باغ‌های پسته شده است (Mohammadi et al., 2022). دامنه میزبانی وسیع، نفوذ به بافت‌های چوبی، توانایی تشکیل ریزومورف و ماهیت پوده‌رستی قارچ عامل بیماری کنترل آن را با چالش روبرو نموده است (Mohammadi et al., 2022). قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار قادر به برقراری همزیستی با بیش از ۸۰ درصد گیاهان بوده (Li et al., 2023) و از طریق سازوکارهایی مانند بهبود تغذیه و ساختار و عملکرد ریشه، رقابت با بیمارگرها برای مکان یا فضا، تغییر در فیزیولوژی گیاه، القاء مقاومت سیستمیک و تحریک سیستم دفاعی گیاه، قادر به مهار طیف وسیعی از بیمارگرهای گیاهی و کاهش شدت بیماری‌های گیاهی می‌باشند (Ahmed et al., 2023; Nogales et al., 2010; Weng et al., 2022). امروزه کاربرد قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار به‌عنوان یک راهکار کنترلی پایدار، اقتصادی و سازگار با محیط زیست، مورد توجه روزافزون قرار گرفته است (Baker et al., 2020; Hashemi et al., 2022). تأثیر مثبت قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار برای کنترل زیستی بیمارگرهای گیاهی مختلف، توسط محققین زیادی تأیید شده که از آن جمله می‌توان به کاهش پژمردگی ورتیسیلیومی پسته (Jamali Paghaleh et al., 2022)، زیتون (Boutaj et al., 2020)، کاهش پژمردگی فوزاریومی در توت فرنگی (Yanan et al., 2015)، نخود (Shukla et al., 2014)، پوسیدگی فیتوفتورایی فلفل (Kucukyumuk et al., 2013)، پسته (Behmanesh et al., 2019; Shamsaddin saeed et al., 2019).

2022)، مرکبات (Watanarojanaporn et al., 2011) و کاکائو (Tchameni et al., 2011) و پوسیدگی زغالی در آفتابگردان (Ahmed et al., 2023) اشاره نمود. در ارتباط با پوسیدگی آرمیلاریایی نیز، گزارش‌ها نشان می‌دهد قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار می‌توانند با تقویت رشد ریشه، کاهش محل‌های نفوذ بیمارگر، بهبود وضعیت تغذیه‌ای و فعال‌سازی مسیرهای دفاعی گیاه، در گیاهانی مانند انگور و اسطوخودوس، شدت بیماری را کاهش داده و یا علائم بیماری را به تأخیر بیندازند (Calvet et al., 2015; Comprubi et al., 2008; Nogales et al., 2010).

از سوی دیگر، شوری خاک به‌عنوان یکی از تنش‌های مهم غیرزیستی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، موجب کاهش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زیستی از جمله بیماری‌ها می‌شود. شوری با ایجاد تنش اسمزی، تجمع یون‌های سمی و اختلال در تعادل تغذیه‌ای و هورمونی، موجب کاهش رشد و تضعیف پاسخ‌های دفاعی گیاه می‌شود (Mustapha et al., 2022). همچنین بیان ژن‌های مرتبط با دفاع و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط شور کاهش می‌یابد و گیاه در برابر بیمارگرها آسیب‌پذیرتر می‌شود (Mustapha et al., 2022).

در چنین شرایطی، قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار می‌توانند نقش کلیدی در افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری و بیماری ایفا کرده و از طریق سازوکارهایی مانند افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و پتاسیم (Diao et al., 2021; Evelin et al., 2019)، بهبود وضعیت آبی گیاه (Janah et al., 2021)، افزایش ظرفیت فتوسنتزی (Gao et al., 2020) و ارتقاء سیستم آنتی‌اکسیدانی (Boorboori and Lackoova, 2025; Afshar and Abbaspour, 2023) مقاومت گیاهان را بهبود بخشند (Begum et al., 2019; Fattahi et al., 2021; Lin et al., 2021).

روش‌شناسی پژوهش

تهیه زادمایه قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار

سه گونه قارچ‌ریشه آربوسکولار (*Rhizophagus irregularis* (syn: *Glomus intraradices*) (با شماره دسترسی KT456544)، *Funneliformis mosseae* (Syn: *G. mosseae*) و *Claroideoglomus etunicatum* (Syn: *G. etunicatum*) به صورت محصول تجاری با نام میکوروت (Mycoroot) از شرکت زیست فناوری پيشتاز واریان تهیه شد. بستره مورد استفاده بر پایه پرلیت و حاوی حداقل ۱۰۰ زادمایه فعال از سه گونه قارچ‌ریشه با نسبت مساوی در هر گرم بود.

تهیه جدایه و تکثیر زادمایه *Armillaria mellea*

جدایه *A. mellea* (PRI 95-02) مورد استفاده در این تحقیق در سال ۱۳۹۶ از درختان پسته در شهرستان سیرجان جداسازی و با شماره دسترسی OL377854 در بانک ژن ثبت شده است. برای تکثیر زادمایه بیمارگر، سرشاخه‌های جوان درختان سیب با قطر ۱ تا ۱/۵ و طول ۲ تا ۳ سانتی‌متر درون ظروف شیشه‌ای درب‌دار به مدت یک ساعت و به فاصله یک روز در میان در سه نوبت در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱۵ پوند بر اینچ مربع ضدعفونی شدند. به هر ظرف شیشه‌ای ۱۰ عدد بلوک یک سانتی‌متری از پرگنه‌های ۱۰ روزه *A. mellea* روی محیط کشت عصاره مالت آگار ۳ درصد اضافه شد و به مدت ۶ ماه در دمای ۲۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند (Baumgartner & Rizzo, 2006).

کاشت نهال پسته، مایه‌زنی قارچ آربوسکولار، تیمارهای شوری و مایه‌زنی بیمارگر

بذرهای پسته رقم احمدآقایی (حساس به شوری) پس از جداسازی پوست چوبی و ضدعفونی با محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۱۰ دقیقه و سه بار شستشو با آب مقطر سترون، به مدت ۷ ساعت در آب خیسانده شدند. سپس در گلدان‌های سه کیلوگرمی حاوی ۲۰۰۰ گرم مخلوط خاک بکر سترون و ماسه بادی با نسبت ۱ به ۲ مخلوط شده (جداول ۱ و ۲) با پنج درصد (وزنی) زادمایه قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار (Jamali paghaleh et al., 2022)، هفت عدد بذر پسته قرار داده شد که پس از پوشاندن روی بذر، وزن خاک گلدان‌ها به میزان ۲۵۰۰ گرم تنظیم شد. پس از اطمینان از سبز شدن بذر و رسیدن

گیاهچه‌ها به مرحله ۴ برگ، چهار نهال یکنواخت در هر گلدان نگه داشته شد. گلدان‌ها به مدت دو ماه در گلخانه با دمای 25 ± 3 درجه سلسیوس و شدت نور ۶۰۰۰ لوکس (ترکیب نور طبیعی و مصنوعی) به صورت ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی نگهداری شد و با آب مقطر ($EC = 0.35 \text{ dS m}^{-1}$) و در حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. غلظت‌های ۱۲۰۰، ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک برای اعمال تنش شوری استفاده شد. برای هر گلدان غلظت‌های مختلف کلریدسدیم (به ازای ۲۵۰۰ گرم خاک موجود در گلدان‌ها) در یک لیتر آب مقطر تهیه شد و به منظور جلوگیری از ایجاد تنش شدید به نهال‌ها، به همراه آب آبیاری در مدت یک ماه به گلدان‌ها افزوده شد. برای مایه‌زنی بیمارگر، خاک اطراف هر نهال تا عمق ۱۵ سانتی‌متری کنار زده شد و به ازای هر نهال، دو عدد سرشاخه سیب کلنیزه شده با بیمارگر کنار ریشه‌ها قرار داده شد (Baumgartner & Rizzo, 2006).

جدول ۱. برخی خصوصیات شیمیایی خاک گلدان‌های آزمایشی.

اسیدیته	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک	SAR	کلسیم	منیزیم	سدیم	کلر	پتاسیم	فسفر قابل جذب
pH	ECe (dS/m)		Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ meq/l	Na ⁺ meq/l	Cl ⁻ meq/l	K (mg/kg)	P (mg/kg)
۷/۲	۱/۳	۲/۵	۲/۵	۴/۳	۲/۵	۴/۵	۲۶۰	۹/۵

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی خاک گلدان‌های آزمایشی.

درصد ذرات خاک			بافت خاک	درصد رطوبت خاک	
شن	سیلت	رس		ظرفیت زراعی (FC)	نقطه پژمردگی دائم (PWP)
۸۷	۵/۹	۷/۱	شنی لومی	۱۷/۱	۳/۴

سنجش ویژگی‌های رشدی

چهار ماه پس از مایه‌زنی بیمارگر و بروز نشانه‌های بیماری، برداشت گیاهان آغاز شد. اندام هوایی نهال‌ها در محل طوقه از ریشه‌ها جدا شد و با آب شهری کاملاً شستشو داده شدند. ارتفاع ساقه نهال‌ها از محل طوقه با استفاده از خط‌کش، سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه اسکنر سطح برگ مدل DAC AM100 و وزن خشک اندام هوایی و ریشه با قرار دادن آن‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت، محاسبه گردید. قبل از محاسبه وزن خشک، از کلیه نهال‌ها دو گرم از اندام هوایی و ریشه به صورت جداگانه برداشت شد و برای اندازه‌گیری‌های بعدی استفاده گردید.

اندازه‌گیری غلظت کلروفیل کل

نیم گرم بافت تازه برگ‌ها همراه با ده میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در یک هاون چینی روی یخ، کاملاً له و عصاره‌گیری شد و پس از عبور دادن از کاغذ صافی (Macherey-Nagel MN 615) میزان جذب نور به وسیله اسپکتروفتومتر (Spectrometer PG Instruments Ltd, T80 U/VIS, England) در طول موج‌های ۶۴۷ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. میزان غلظت کلروفیل کل با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Lichtenthaler, 1987).

$$\text{کلروفیل کل (میلی گرم/گرم)} = (18/71 \times A_{647}) + (7/15 \times A_{663})$$

اندازه‌گیری غلظت پرولین و قندهای محلول ریشه

برای محاسبه غلظت پرولین، نیم گرم بافت تازه ریشه پسته در یک هاون با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد همگن سازی شد. این مرحله دو بار دیگر با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار گردید. پس از سانتریفیوژ عصاره با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه، یک میلی‌لیتر از فاز رویی با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق و به آن ۵ میلی‌لیتر ناین هیدرین اسیدی (معرف ناین‌هیدرین از حل کردن ۱/۲۵ گرم ناین‌هیدرین در ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار تهیه شد) و ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال افزوده شد. مخلوط نهایی پس از تکان مختصر به مدت چند دقیقه، در حمام آب گرم به مدت ۴۵ دقیقه با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس با گذاشتن سریع روی یخ، دمای آن کاهش داده شد. پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر بنزن و مخلوط نمودن کامل عصاره با همزن مکانیکی و ۳۰ ثانیه حالت سکون، میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای رسم منحنی استاندارد پرولین از ال-پرولین استفاده شد و غلظت پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر ریشه محاسبه گردید (Irigoyen et al., 1992). برای اندازه‌گیری قندهای محلول نیم گرم از بافت تازه ریشه با استفاده از ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون سرامیکی عصاره‌گیری و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. صد میکرولیتر از این عصاره با سه میلی‌لیتر از آنترون تازه تهیه شد (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون خالص به همراه ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) مخلوط شد و پس از قرار دادن در حمام آب گرم در حال جوش به مدت ۱۰ دقیقه و خنک شدن، میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف گلوکز خالص رسم شد و غلظت قندهای محلول در نمونه‌های ریشه بر اساس میلی‌گرم بر وزن تر ریشه محاسبه گردید (Irigoyen et al., 1992).

اندازه‌گیری کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار

برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها و مشاهده اندام قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار از روش Kormanic & Mc Graw (1982) با کمی تغییرات به شرح زیر استفاده گردید. ریشه نهال‌ها پس از شستشو با آب مقطر و گرفتن رطوبت از آن‌ها با دستمال کاغذی، به مدت یک ساعت در لوله‌های آزمایش حاوی هیدروکسید پتاسیم ۱۲ درصد داخل حمام آب گرم با دمای ۹۰ درجه سلسیوس نگهداری شد و سه مرتبه با آب مقطر شستشو شدند. سپس نمونه‌ها در محلول آب‌اکسیژنه قلیایی (۳ میلی‌لیتر NH_4OH ، ۳۰ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۱۰ درصد و ۵۶۷ میلی‌لیتر آب شهری) به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری و پس از شستشوی کامل با آب مقطر، به مدت ۳ تا ۴ دقیقه در محلول یک درصد اسید کلریدریک نگهداری گردید و سپس بدون شستشو به ارلن‌های کوچک حاوی محلول لاکتوفنل-اسید فوشین ۰/۱ درصد منتقل و به مدت ۳۵ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از خنک شدن، ریشه‌ها به منظور رنگبری به محلول لاکتوفنل منتقل گردید. شصت قطعه یک سانتی‌متری از ریشه‌ها به صورت تصادفی انتخاب و ۱۰ عدد از آن‌ها روی هر اسلاید میکروسکوپی قرار داده شدند. کلنیزاسیون طول ریشه‌ها با بزرگنمایی ۴۰۰X مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه ریشه‌های کلنیزه شده از روش Gridline-intersect استفاده شد (Giovannetti & Mosse, 1980). در این روش، قسمت تحتانی پتری دیش‌های با قطر ۱۰ سانتی‌متر با استفاده از خط‌کش به مربع‌هایی با ابعاد ۱/۳ سانتی‌متر تقسیم شد و ۱/۵ گرم از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به صورت یکنواخت در سطح پتری دیش‌ها پخش شدند. ریشه‌ها با استفاده از میکروسکوپ در امتداد خطوط افقی و عمودی بررسی شده و وجود و یا عدم وجود اندام قارچ‌ریشه‌ها در هر نقطه یادداشت گردید.

میزان مرگ و میر نهال‌ها و کلنیزاسیون بیمارگر در ریشه و طوقه نهال‌ها

میزان مرگ و میر نهال‌ها، با شمارش تعداد نهال‌های خشک شده در هر گلدان محاسبه گردید. تعداد ۴۰ قطعه نیم سانتی‌متری از ریشه‌های اصلی و طوقه نهال‌های پسته نیز به صورت تصادفی جدا شد و به مدت ۳۰ دقیقه با آب شستشو شدند. پس از ضدعفونی قطعات در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت دو دقیقه و سه بار شستشو با آب مقطر سترون و

گرفتن رطوبت آن‌ها با استفاده از دستمال کاغذی سترون، قطعات روی محیط کشت MEA حاوی به ترتیب ۲۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر از بنومیل و استرپتومایسین (Worrall, 1991) کشت داده شدند. با شمارش تعداد قطعات کلنیزه شده درصد کلنیزاسیون بیمارگر محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار در گلخانه پژوهشکده پسته انجام شد. فاکتورها عبارت بودند از شوری (صفر، ۱۲۰۰، ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک)، بیمارگر (مایه‌زنی با و بدون بیمارگر) و مخلوط سه قارچ‌ریشه آربوسکولار (مایه‌زنی با و بدون AMF). برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS ver. 9.1 استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) انجام گردید.

یافته‌های پژوهشی

چهارماه پس از مایه‌زنی بیمارگر، نشانه‌های پوسیدگی آرمیلاریایی ریشه و طوقه شامل پژمردگی و خشکیدگی در نهال‌های مایه‌زنی شده با بیمارگر به تنهایی مشاهده شد. بررسی ناحیه طوقه و ریشه این گیاهان به وضوح تشکیل صفحات میسلومی سفیدرنگ بیمارگر را نشان می‌داد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در کلیه تیمارها، دو سطح شوری ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه، سطح برگ و ارتفاع نهال‌ها در مقایسه با غلظت صفر کلریدسدیم شدند (جدول ۳). ویژگی‌های رشدی فوق‌الذکر در تیمار مایه‌زنی با قارچ‌ریشه‌ها (AM) افزایش معنی‌دار و در تیمار مایه‌زنی بیمارگر، کاهش معنی‌دار در مقایسه با تیمار شاهد را نشان دادند. در تیمار ترکیب قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار و بیمارگر (AM+Arm)، ویژگی‌های رشدی به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار مایه‌زنی با بیمارگر بود که این موضوع تأثیر مثبت قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار بر کاهش اثرات مخرب *A. mellea* را نشان داد.

جدول ۳. تأثیر مایه‌زنی قارچ ریشه‌های آربوسکولار (AM)، بیمارگر (*Armillaria mellea* (Arm) و ترکیب آن‌ها (AM+Arm) بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، سطح برگ و ارتفاع نهال‌های پسته احمدآقایی در سطوح مختلف شوری

تیمارها				
غلظت‌های کلریدسدیم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	شاهد	قارچ ریشه‌های آربوسکولار (AM)	بیمارگر (Arm)	قارچ ریشه‌های آربوسکولار+بیمارگر (AM+Arm)
وزن خشک اندام هوایی (گرم/گلدان)				
صفر	۵/۶۴±۰/۲۸b	۶/۵۷±۰/۲۳a	۳/۶۹±۰/۲۶e	۵/۳۹±۰/۲۶bc
۱۲۰۰	۵/۳۲±۰/۳۲bc	۶/۲۶±۰/۲۴a	۲/۴۹±۰/۲۲fg	۵/۱۴±۰/۳c
۲۴۰۰	۴/۴۲±۰/۳۴d	۵/۰۱±۰/۲۳c	۱/۸۷±۰/۳۳h	۴/۲۱±۰/۲d
۳۶۰۰	۲/۶۷±۰/۳۳f	۳/۵±۰/۲۳e	۱/۴۱±۰/۲۱i	۲/۲۱±۰/۲۷gh
وزن خشک ریشه (گرم/گلدان)				
صفر	۲/۴۰±۰/۲۹bc	۲/۹۴±۰/۲۸a	۱/۴۲±۰/۲۳e	۲/۲۳±۰/۲۱c
۱۲۰۰	۲/۲۴±۰/۲۳c	۲/۷±۰/۲۲ab	۱/۰۵±۰/۲۱f	۲/۱۳±۰/۱۸c
۲۴۰۰	۱/۸۰±۰/۲۰d	۲/۲۸±۰/۲۲c	۰/۸۸±۰/۱۸f	۱/۵۹±۰/۱۶de
۳۶۰۰	۱/۰۲±۰/۱۷f	۱/۶۹±۰/۱۹de	۰/۵۱±۰/۲۳g	۰/۹۹±۰/۲۲f
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)				
صفر	۱۳۶/۸±۶/۷۰b	۱۵۷±۷/۱۲a	۱۰۰/۱±۶/۱۷d	۱۳۳±۵/۵۱b
۱۲۰۰	۱۳۲±۶/۲۶b	۱۵۲±۶/۹۳a	۸۸/۷۵±۶/۴۰ef	۱۲۷±۶/۶۸bc
۲۴۰۰	۱۰۳±۶/۴۸d	۱۱۹±۷/۱۲c	۵۹/۷۵±۶/۱۸h	۹۶±۵/۷۲de

تیماها				
غلظت‌های کلریدسدیم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	شاهد	قارچ ریشه‌های آربوسکولار (AM)	بیمارگر (Arm)	قارچ ریشه‌های آربوسکولار+بیمارگر (AM+Arm)
وزن خشک اندام هوایی (گرم/گلدان)				
۳۶۰۰	۷۳±۶/۲۲g	۸۳±۶/۵۸f	۴۹±۶/۲۴i	۶۲/۲۵±۶/۱۳h
ارتفاع نهال (سانتی‌متر)				
صفر	۲۵/۵۵±۱/۲۵b	۲۸/۵۵±۱/۱۷a	۲۲/۲۵±۱/۲۶cde	۲۴/۸۳±۱/۱۸b
۱۲۰۰	۲۴/۵۵±۱/۲۸b	۲۷/۷۷±۰/۹۱a	۲۱/۳۳±۱/۱۲de	۲۳/۹۵±۱/۰۵bc
۲۴۰۰	۲۲/۴۲±۱/۳۳cd	۲۵/۵۵±۱/۲۸b	۱۸/۷±۰/۹۶fg	۲۱/۵۸±۱/۲۰de
۳۶۰۰	۲۰/۴۲±۱/۳۵ef	۲۲/۵۵±۱/۲۸cd	۱۶/۷±۱/۲۵h	۱۸/۵۲±۱/۴۹g

میانگین‌های دارای حروف مشترک، طبق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح ۵ درصد ندارند. اعداد همراه علامت $\pm$ خطای معیار هستند.

با افزایش غلظت کلریدسدیم، غلظت کلروفیل کل برگ نسبت به سطح شوری صفر در کلیه تیمارها کاهش یافت که این کاهش در غلظت‌های ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، معنی‌دار بود. مایه‌زنی AM و Arm در کلیه سطوح شوری به ترتیب موجب افزایش و کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل کل در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در تیمار ترکیب قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار و بیمارگر (AM+Arm)، غلظت کلروفیل کل برگ به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار مایه‌زنی با بیمارگر بود (جدول ۴).

جدول ۴. تأثیر مایه‌زنی قارچ ریشه‌های آربوسکولار (AM)، بیمارگر (*Armillaria mellea* (Arm) و ترکیب آن‌ها (AM+Arm) بر غلظت کلروفیل کل،

پرویلین و قندهای محلول در نهال‌های پسته احمدآقایی در سطوح مختلف شوری

تیماها				
غلظت‌های کلریدسدیم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	شاهد	قارچ ریشه‌های آربوسکولار (AM)	بیمارگر (Arm)	قارچ ریشه‌های آربوسکولار+بیمارگر (AM+Arm)
کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر برگ)				
۰	۲/۵۹±۰/۲۲cd	۳/۵±۰/۲۸a	۱/۶۲±۰/۲۲fg	۲/۳۷±۰/۳۱d
۱۲۰۰	۲/۴±۰/۲۵d	۳/۲۲±۰/۳۲ab	۱/۳۸±۰/۲۱g	۲/۲۲±۰/۲۴de
۲۴۰۰	۱/۸۴±۰/۳۳ef	۲/۸۴±۰/۲۹bc	۰/۷۷±۰/۲۷h	۱/۶۱±۰/۲۹fg
۳۶۰۰	۱/۳۴±۰/۳۳g	۲/۲۵±۰/۲۲d	۰/۳۴±۰/۲i	۰/۸۶±۰/۲۲h
پرویلین (میکرومول بر گرم وزن تر ریشه)				
۰	۱۱/۹۱±۱/۲h	۱۴/۰۵±۱fg	۹/۱۵±۱/۱i	۱۳/۸±۱/۲g
۱۲۰۰	۱۵/۰۷±۱/۴efg	۱۷/۰۵±۱d	۱۰/۰۲±۱/۲i	۱۵/۹±۱/۲def
۲۴۰۰	۱۹/۰۸±۱/۵c	۲۱/۱۵±۱/۳ab	۷/۳±۱j	۱۶/۵۲±۱/۴de
۳۶۰۰	۲۰±۱/۴bc	۲۲/۱۰±۱/۲a	۵/۲±۱/۱k	۱۵/۰۲±۱/۲efg
قندهای محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر ریشه)				
۰	۲۱/۳۵±۱/۲۵ef	۲۸/۰۸±۱/۳c	۱۵/۳±۱/۲۲h	۲۰/۸۳±۱/۰۲ef
۱۲۰۰	۲۳/۳۵±۱/۳۷d	۳۰/۰۲±۱/۳۲b	۱۷/۱۰±۱/۲۴g	۲۲/۷±۰/۹de
۲۴۰۰	۲۶/۶۰±۱/۱۵c	۳۳/۶۰±۱/۴۳a	۱۳/۳۲±۱/۳۷i	۲۲/۰۸±۱/۰۳def
۳۶۰۰	۲۷/۸±۱/۲۵c	۳۴/۲۸±۱/۲۳a	۱۰/۳۲±۱/۳۷j	۲۰/۵۵±۱/۲۹f

میانگین‌های دارای حروف مشترک، طبق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح ۵ درصد ندارند. اعداد همراه علامت $\pm$ خطای معیار هستند.

همچنین نتایج نشان داد که در تیمارهای شاهد و تیمار مایه‌زنی با قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار (AM)، با افزایش شوری به خصوص در غلظت‌های ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، غلظت پرولین و قندهای محلول به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. در کلیه غلظت‌های کلریدسدیم، مایه‌زنی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار و بیمارگر به ترتیب موجب افزایش و کاهش معنی‌دار غلظت پرولین و قندهای محلول در مقایسه با تیمار شاهد گردید. با افزایش شوری غلظت پرولین و قندهای محلول در مقایسه با غلظت صفر کلریدسدیم کاهش یافت به‌طوری‌که در غلظت ۳۶۰۰ میلی گرم در کیلوگرم کلریدسدیم، کمترین غلظت پرولین و قندهای محلول مشاهده گردید (جدول ۴). در تیمار ترکیب قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار و بیمارگر (AM+Arm)، غلظت پرولین و قندهای محلول نسبت به تیمار بیمارگر به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد (جدول ۴).

با افزایش شوری درصد ریشه‌های کلنیزه شده با قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار در دو تیمار مایه‌زنی شده با قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار به تنهایی (AM) و ترکیب آنها با بیمارگر (AM+Arm)، روند کاهشی نشان داد به‌طوری‌که در شوری‌های ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک کمترین درصد ریشه‌های کلنیزه مشاهده شد که دارای تفاوت معنی‌دار با شوری‌های صفر و ۱۲۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک بود (جدول ۵). همین روند در مورد طول ریشه‌های کلنیزه شده با قارچ‌ریشه‌ها نیز مشاهده گردید (جدول ۵). در حضور بیمارگر (تیمار AM+Arm)، درصد ریشه‌های کلنیزه شده با قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار در مقایسه با تیمار AM (در غیاب بیمارگر) هم در شرایط غیر شور (غلظت صفر کلریدسدیم) و هم شرایط شور (غلظت‌های ۱۲۰۰، ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی گرم کلریدسدیم بر کیلوگرم خاک) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت اما درصد کلنیزاسیون طول ریشه‌ها به‌وسیله قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار در حضور بیمارگر تنها در شوری ۳۶۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، کاهش معنی‌دار در مقایسه با تیمار AM به تنهایی (در غیاب بیمارگر) را نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵. درصد ریشه‌های کلنیزه شده و کلنیزاسیون طول ریشه پسته رقم احمدآقایی به وسیله قارچ ریشه‌های آربوسکولار در تیمارهای مایه‌زنی با قارچ ریشه‌های آربوسکولار (AM) و ترکیب آن‌ها با *Armilaria mellea* (AM+Arm) در غلظت‌های مختلف کلریدسدیم

تیمارها		
غلظت‌های کلریدسدیم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	قارچ ریشه‌های آربوسکولار (AM)	قارچ ریشه‌های آربوسکولار + بیمارگر (AM+Arm)
ریشه‌های کلنیزه شده (درصد)		
صفر	۹۰/۷۵±۳,۴a	۷۵/۵±۲/۶۵c
۱۲۰۰	۸۹±۲/۹۷a	۷۳/۲۵±۱/۹۴c
۲۴۰۰	۸۳/۵±۲/۴۸b	۶۵±۲/۲d
۳۶۰۰	۷۷/۲۵±۲/۵c	۶۱/۵±۲/۱۲d
کلنیزاسیون طول ریشه (درصد)		
صفر	۶۸/۲۵±۳/۱a	۶۶±۲/۹۴ab
۱۲۰۰	۶۷/۷۵±۲/۵ab	۶۵/۳±۲/۶ab
۲۴۰۰	۶۶/۲۵±۲/۶ab	۶۴±۲/۰۲b
۳۶۰۰	۶۴±۲/۴۵b	۵۸/۷۵±۲/۰۶c

میانگین‌های دارای حروف مشترک، طبق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح ۵ درصد ندارند. اعداد همراه علامت $\pm$ خطای معیار هستند.

در تیمار مایه‌زنی بیمارگر به تنهایی (Arm) و تیمار ترکیب قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار و بیمارگر (AM+Arm)، افزایش غلظت کلریدسدیم موجب افزایش کلنیزاسیون ریشه توسط بیمارگر و مرگ و میر نهال‌ها شد که این افزایش در غلظت‌های ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک نسبت غلظت ۱۲۰۰ میلی گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک و شرایط

غیرشور معنی دار بود (جدول ۶). مقایسه دو تیمار مایه زنی بیمارگر به تنهایی (Arm) و تیمار ترکیب قارچ ریشه های آربوسکولار و بیمارگر (AM+Arm) نشان داد که حضور قارچ ریشه های آربوسکولار می تواند به طور معنی داری کلنیزاسیون ریشه توسط بیمارگر و مرگ و میر نهال ها را نسبت به تیمار بیمارگر به تنهایی در تمام غلظت های کلرید سدیم و شرایط غیرشور کاهش دهد. **جدول ۶.** درصد کلنیزاسیون بیمارگر در ریشه و مرگ و میر نهال های پسته رقم احمدآقایی در تیمارهای مایه زنی با *Armillaria mellea* (Arm) و ترکیب قارچ ریشه های آربوسکولار و بیمارگر (AM+Arm) در غلظت های مختلف کلرید سدیم

تیمارها		
غلظت های کلرید سدیم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	بیمارگر (Arm)	قارچ ریشه های آربوسکولار+بیمارگر (AM+Arm)
کلنیزاسیون ریشه توسط بیمارگر (درصد)		
صفر	۷۵/۷۵±۳b	۵۹/۷۵±۳d
۱۲۰۰	۷۹±۲/۲b	۶۲±۲/۶d
۲۴۰۰	۸۶/۷۵±۲/۷a	۶۳/۵±۳/۱d
۳۶۰۰	۸۶/۸±۲/۱a	۶۷/۹±۲/۴c
مرگ و میر (درصد)		
صفر	۴۳/۷۵±۷/۵de	۲۵±۷/۵f
۱۲۰۰	۵۶/۲۵±۹/۵cd	۳۱/۳±۱۲/۵ef
۲۴۰۰	۷۱/۷۵±۹/۵b	۴۳/۷۵±۱۲/۵de
۳۶۰۰	۹۳/۸±۷/۵a	۶۸/۸±۱۲/۵bc

میانگین های دارای حروف مشترک، طبق آزمون دانکن اختلاف معنی داری با یکدیگر در سطح ۵ درصد ندارند. اعداد همراه علامت $\pm$ خطای معیار هستند.

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شوری به خصوص غلظت های بالای کلرید سدیم اثرات منفی مشخصی بر خصوصیات رویشی و غلظت کلروفیل کل در نهال های پسته احمدآقایی دارد که این نتایج با مطالعات سایر محققین در رابطه با واکنش نهال های پسته در شرایط تنش شوری مطابقت داشت (Abbaspour *et al.*, 2021; Afshar & Abbaspour, 2023; Bagherzadeh *et al.*, 2016; Behmanesh *et al.*, 2019; Fattahi *et al.*, 2021; Jamshidi Goharrizia *et al.*, 2020).

به نظر می رسد که کلرید سدیم با تأثیر بر پتانسیل اسمزی، برهم زدن تعادل یونی (Soleimanian *et al.*, 2016)، اختلال در متابولیسم، کاهش کارایی ریشه (Mirfattahi *et al.*, 2018)، جایگزین شدن سدیم به جای کلسیم در دیواره سلول و کاهش کشش پذیری سلول، افزایش فعالیت و مصرف انرژی توسط سلول جهت تولید تنظیم کننده های اسمزی (Behmanesh *et al.*, 2019) و کاهش نرخ تقسیم سلولی و طولی شدن و تمایز سلولی (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2016) موجب توقف در رشد و از دست رفتن حجم زیادی از زیست توده می شود و با آسیب به کلروپلاست ها و کاهش هدایت روزنه ای، محتوای رنگیزه های فتوسنتزی و میزان کلروفیل، توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش می دهد (Boorboori & Lackoova, 2025). همچنین کلرید سدیم با اختلال در توازن یونی به ویژه یون نیترات (NO_3^-) و با کاهش جذب عناصر غذایی معدنی به ویژه، منیزیم که مورد نیاز برای بیوسنتز کلروفیل است موجب کاهش میزان غلظت کلروفیل موجود در برگ می گردد (Sheng *et al.*, 2008). فرایند فتوسنتز علاوه بر تأمین مواد مغذی مورد نیاز برای رشد گیاه، ترکیبات مرتبط با دفاع در برابر بیمارگرها را نیز تولید می کند (Serrano *et al.*, 2016). بنابراین یکی از راهبردهای موفقیت آمیز بیمارگر برای ایجاد آلودگی از طریق سرکوب فتوسنتز است (Pu *et al.*, 2022). از طرفی خود گیاه هم با کم کردن تعداد و سطح برگ جهت از دست دادن آب کمتر از طریق تعرق با تنش شوری مقابله می کند (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2016).

اثر بیمارگر (Arm) در کاهش شاخص‌های رشدی و کلروفیل کل با توجه به حساس بودن پسته احمدآقایی به پوسیدگی آرمیلاریایی (Mohammadi *et al.*, 2022) قابل انتظار بود ولی شوری با افزایش شدت بیماری موجب کاهش بیشتر در میزان شاخص‌های رشدی و کلروفیل گردید. این کاهش رشد رویشی و کلروفیل به دلیل حضور بیمارگر در میزبان‌های مختلف در شرایط شور و غیر شور مانند اسطوخودوس (Calvet *et al.*, 2015)، زیتون (Birem *et al.*, 2016)، پسته (Behmanesh, 2022; Shamsaddin saeed *et al.*, 2022; Jamali paghaleh *et al.*, 2019; *et al.*, 2019)، انگور (Nogales *et al.*, 2009b)، نیز گزارش شده است.

شوری با افزایش نفوذپذیری غشاء سیتوپلاسمی و بهم زدن ساختمان درونی سلول و نشت بیشتر مواد غذایی از ریشه می‌تواند باعث افزایش جذب بیمارگر به سمت ریشه گیاهان شود (Bais *et al.*, 2006). علاوه بر اینکه اثر تحریک‌کنندگی شوری بر رشد رویشی *A. mellea* می‌تواند باعث افزایش فعالیت بیمارگر در محیط اطراف ریشه‌ها شده و بر عملکرد سلول‌های ریشه تأثیر نامطلوب گذاشته و مانع از رشد ریشه‌ها و ریشه‌زایی مجدد گردد و با کاهش تولید فیتواکسین به ویژه در ارقام حساس به شوری موجب اختلال در سیستم دفاعی و افزایش حساسیت بافت‌ها به بیمارگر و کاهش ویژگی‌های رشدی می‌گردد (Mohammadi & Banihashemi, 2007). بیمارگر *A. mellea* با آسیب به ریشه باعث ایجاد تنش آبی در نهال‌های پسته شده که به دنبال آن با بسته شدن روزنه‌ها توسط گیاه در واکنش به تنش آبی، موجب کاهش فتوسنتز گردد (Devkota & Hammerschmidt, 2020; Mohammadi *et al.*, 2022). این فتوسنتز پایین‌تر در گیاهان آلوده موجب تسریع روند پیری هم در گیاهان میکوریزایی و هم بدون میکوریز می‌شود (Norouzi *et al.*, 2011).

تحقیقات متعددی در مورد نقش مفید قارچ‌های AM در بهبود خصوصیات رشدی و غلظت کلروفیل گیاهان در حضور و غیاب بیمارگر (Abbaspour *et al.*, 2021; Aguk *et al.*, 2018; Ahmed *et al.*, 2023; Calvet *et al.*, 2015; Begum *et al.*, 2019; Weng *et al.*, 2022; Nogales *et al.*, 2009a,b) و همچنین در شرایط شور و خشک وجود دارد (Afshar & Abbaspour, 2023) که با نتایج تحقیق حاضر هم خوانی دارد. این نشان می‌دهد که در حضور قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار، بیمارگر نتوانسته اثرات منفی خود را بر خصوصیات رویشی و غلظت کلروفیل بگذارد. قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار با برقراری تعادل فیتوهورمون گیاهی، تنظیم متابولیسم و بهبود رشد ریشه (Afshar & Abbaspour, 2023)، حفظ تورژسانس سلولی و یکپارچگی سلولی و بهبود دسترسی به آب (Ahmed *et al.*, 2023; Boorboori & Lacko'ova, 2025; Tarraf *et al.*, 2017)، افزایش جذب انتخابی عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و فسفر (wang *et al.*, 2022)، افزایش فعالیت آنزیم احیا کننده نیترات (آنزیم نیترات ردوکتاز و سنتز پروتئین (Fattahi *et al.*, 2021)، افزایش فتوسنتز و فراورده‌های فتوسنتز (liu *et al.*, 2016) و فعال‌سازی مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی (Chandrasekaran *et al.*, 2019) می‌توانند موجب کاهش اثرات مخرب شوری و بیمارگر بر خصوصیات رویشی و غلظت کلروفیل گیاهان گردند.

شوری همچنین موجب افزایش غلظت پرولین در نهال‌های پسته گردید که با نتایج محققین دیگر روی پسته مطابقت داشت (Afshar & Abbaspour, 2023; Jamshidi Goharrizia *et al.*, 2020; Shamshiri *et al.*, 2024). پرولین از مهمترین آمینواسیدهای مسئول در حفظ پتانسیل آب و یکپارچگی غشاء در سلول‌های گیاهی برای ممانعت از تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن تحت شرایط تنش است (Afshar & Abbaspour, 2023) که با حفظ تعادل اسمزی، جلوگیری از تخریب پروتئین‌ها، پایداری آنزیم‌های اکسید و احیا و افزایش غلظت پتاسیم درون سلول، خطرات ناشی از تنش شوری را کاهش می‌دهد (Boorboori & Lenka Lacko'ova, 2025). همچنین پرولین، مخزنی از انرژی و نیتروژن لازم برای رشد و بقا در طول تحمل تنش فراهم می‌کند (Athar *et al.*, 2022). در حضور بیمارگر غلظت پرولین کاهش یافت که همراستا با نتایج محققین دیگر در شرایط غیر شور بود (Jamali paghaleh *et al.*, 2022; Shamsaddin saeed *et al.*, 2022). کاهش غلظت پرولین در حضور بیمارگرهای گیاهی ممکن است به دلایل مختلفی مانند افزایش مصرف آن بعنوان منبع انرژی

(Rogan *et al.*, 2024)، فعال سازی سازوکارهای دفاعی مانند تولید هورمون های گیاهی (اسید سالیسیلیک یا اتیلن) به جای تولید پرولین (Halim, *et al.* 2008)، اختلال در مسیرهای متابولیک و افزایش تجزیه پرولین (Qamar *et al.* 2015) و یا تنش اکسیداتیو (Fabro *et al.*, 2004) ناشی از بیمارگر رخ دهد. در تحقیق حاضر گرچه شوری روی درصد ریشه های کلنیزه شده و کلنیزاسیون طول ریشه نهال های پسته به وسیله قارچ ریشه ها اثر منفی داشت اما مایه زنی قارچ ریشه ها با افزایش غلظت پرولین در ریشه نهال های پسته، آن ها را از آسیب های مخرب شوری محافظت نمود که این نتایج با سایر مطالعات در مورد پسته (Wang *et al.*, 2022; Shamsaddin saeed *et al.*, 2022; Jamali paghaleh *et al.*, 2022) و گیاهان مختلف (Boorboori & Lacko'ova, 2025) مطابقت داشت. افزایش غلظت پرولین ممکن است به دلیل افزایش رشد گیاه، فتوسنتز و ساخت کربوهیدرات و پروتئین بیشتر (Idris *et al.* 2022)، افزایش فعالیت آنزیم های سنتز کننده پرولین و کاهش آنزیم های تجزیه کننده پرولین (پرولین دهیدروژناز) باشد (Alotaibi *et al.* 2021).

بر اساس نتایج تحقیق حاضر شوری غلظت قندهای محلول را نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش داد که نشان دهنده پاسخ مثبت نهال های پسته به تنش شوری بود که همراه با نتایج به دست آمده توسط سایر محققین در انار (Naeini *et al.*, 2006)، پسته (Behmanesh *et al.*, 2019; Jamshidi Goharrizia *et al.*, 2020; Shamshiri *et al.*, 2024) و مرکبات (Momenpour *et al.*, 2019) و (Balal *et al.*, 2011) بود. قندهای محلول به عنوان منابع مهم انرژی (Dong *et al.*, 2023) بسترهای مهمی برای تنفس، رشد و نمو گیاهان و افزایش مقاومت به تنش هستند (Kang *et al.*, 2023). تجمع بیش از حد نمک در خاک موجب کاهش پتانسیل آب خاک می شود، گیاه مولکول های درشت مانند نشاسته را به مولکول های قندی کوچکتر نظیر ساکارز، گلوکز و فروکتوز تجزیه می کند. این عمل باعث می شود غلظت مواد محلول در سلول های گیاهی افزایش یابد و در نتیجه با منفی تر شدن پتانسیل آب در سلول ها، گیاه می تواند آب را از خاک جذب کرده و از دهیدراته شدن سلول ها جلوگیری کند و مقاومت به تنش شوری در گیاهان افزایش یابد (Mousavi *et al.*, 2008). کاهش غلظت قندهای محلول در برگ نهال های پسته احمدآقایی در سطوح مختلف شوری و در حضور بیمارگر با نتایج مطالعات متعددی مطابقت داشت (Behmanesh *et al.*, 2019; Norouzi *et al.*, 2011). این کاهش می تواند به دلیل آسیب شدید به ریشه و کاهش فتوسنتز (Behmanesh *et al.*, 2019)، مرگ سلولی گسترده (Van Breusegem & Dat, 2006) یا مصرف سریع قندها به عنوان منابع انرژی توسط بیمارگر (Hare and Cress, 1997) باشد. در مقابل مایه زنی قارچ ریشه های آربوسکولار توانست با تنظیم پتانسیل اسمزی و تأثیر مثبت در جذب آب و مواد غذایی و افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز، منجر به تولید و افزایش ذخیره کربوهیدرات و در نتیجه کاهش اثرات مخرب بیمارگر گردد. این نتایج با نتایج بهمنش و همکاران (Behmanesh *et al.*, 2019) در شرایط شور و شمس الدین سعید و همکاران (Shamsaddin saeed *et al.*, 2022) و جمالی و همکاران (Jamali paghaleh *et al.*, 2022) در شرایط غیر شور مطابقت داشت.

در تحقیق حاضر نشان داده شد که درصد ریشه های کلنیزه شده و کلنیزاسیون طول ریشه به وسیله قارچ ریشه های آربوسکولار (AM) در حضور بیمارگر (Arm) با افزایش غلظت کلرید سدیم کاهش می یابد که این موضوع نشان دهنده تعامل منفی بین بیمارگر و قارچ ریشه های آربوسکولار بوده که می تواند ناشی از چندین عامل از جمله، رقابت مستقیم برای منابع غذایی و فضا (Maya and Matsubara, 2013)، تغییر در ترکیب دیواره سلولی با فعال شدن مکانیسم های دفاعی خود گیاه (Garmendia *et al.*, 2004)، تغییر در ترکیب میکروبیولوژیکی ریزوسفر و کاهش توانایی گیاه در ارتباط با قارچ ریشه ها (Vos *et al.*, 2014)، کاهش جوانه زنی و رشد میسلیم به دلیل متابولیت های ثانویه سمی تولید شده توسط خود بیمارگر (Nogales *et al.*, 2009b) باشد. همانند نتایج تحقیق حاضر، کاهش کلنیزاسیون قارچ ریشه های آربوسکولار در اثر مایه زنی *Pythium aphanidermatum* (Hosseyini *et al.*, 2016) در خیار، *Phytophthora drechsleri* (Behmanesh *et al.*, 2019) و *Verticillium dahliae* (Jamali paghaleh *et al.*, 2022) در پسته و *A. mellea*

(Nogales et al., 2009a) در انگور گزارش شده است. علاوه بر این گزارش‌های متعددی نشان می‌دهد که سطوح بالای شوری می‌تواند رشد میسلیوم، آربوسکول و وزیکول و به‌طور قابل‌توجهی توانایی قارچ‌ریشه‌ها را برای آلوده‌سازی ریشه‌ها کاهش دهند (Boorboori and Lacko'ova, 2025). اثر منفی قرار گرفتن در معرض شوری زیاد بر ظرفیت کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار در مراحل اولیه رشد گیاه شدیدتر است، اما به مرور زمان، قارچ‌های AM با چنین سطوحی از شوری سازگار می‌شوند (Duc et al., 2021). بر اساس نتایج تحقیق حاضر در غیاب قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار، افزایش شوری درصد کلنیزاسیون *A. mellea* در ریشه و طوقه نهال‌های پسته را افزایش داد، به‌طوری که در غلظت‌های ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، این افزایش حدود ۱۵ درصد بود. همین روند در مورد مرگ و میر نهال‌های پسته نیز مشاهده شد با این تفاوت که بیشترین مرگ و میر نهال در بالاترین غلظت کلریدسدیم و با افزایش ۱۱۴ درصدی همراه بود. برخی از گزارش‌ها حاکی افزایش درصد کلنیزاسیون *V. dahliae* در ریشه نهال‌های پسته در شرایط شور (در خاک و محیط هیدروپونیک) می‌باشد (Mohammadi & Banihashemi, 2008; Mohammadi et al., 2007; Sowik et al., 2016). اما در مقابل بهمنش و همکاران عدم افزایش درصد کلنیزاسیون *P. drechsleri* را در ریشه نهال‌های پسته رقم بادامی زرد در شرایط شور گزارش کرده‌اند (Behmanesh et al., 2019). نکته مهم در این دو گروه از گزارش‌ها، اهمیت واکنش رقم پسته به شوری و بیمارگر می‌باشد که در گزارش‌های افزایش درصد کلنیزاسیون و مرگ و میر، رقم پسته مورد استفاده، حساس به بیمارگر یا شوری بوده است. تنش شوری با تأثیر منفی بر فرایندهای فیزیولوژیکی و با تأخیر در پاسخ‌های دفاعی سیتولوژیکی در ریشه گیاه و کاهش فیتوالکسین‌ها می‌تواند موجب کاهش مقاومت و افزایش کلنیزاسیون بیمارگر در ریشه گیاهان شود (Mirtalebi & Banihashemi, 2019). در بالاترین غلظت کلریدسدیم، حضور قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار (AM+Arm) توانست درصد کلنیزاسیون *A. mellea* به ۶۷/۹ درصد و مرگ و میر نهال‌ها را به ۶۸/۸ درصد کاهش دهد که این کاهش، قابل توجه و معنی‌دار در مقایسه با تیمار مایه‌زنی با بیمارگر به تنهایی بود. نتایج مطالعات انجام شده روی نهال‌های پسته در شرایط شور (Behmanesh et al., 2019) و غیر شور (Jamali paghaleh et al., 2022; Shamsaddin saeed et al., 2022) و همچنین نهال‌های انگور و اسطوخودوس در شرایط غیر شور (Nogales et al., 2009b, 2010; Calvet et al., 2015) با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مخلوط قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار (AM) پتانسیل زیادی در مهار پوسیدگی آرمیلاریایی ناشی از *Armillaria mellea* در نهال‌های پسته در شرایط شور دارند. بهبود صفات رشدی و بیوشیمیایی نهال‌های پسته به همراه کاهش درصد کلنیزاسیون بیمارگر از جمله سازوکارهای افزایش تحمل نهال‌های پسته احمدآقایی و کاهش مرگ و میر آن‌ها در شرایط تنش شوری می‌باشند. با توجه به کاهش کیفیت آب آبیاری در مناطق پسته‌کاری و اثر تحریک‌کنندگی شوری بر مرگ و میر نهال‌های پسته در اثر *A. mellea*، کاربرد قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار می‌تواند به عنوان یک راهکار کاربردی و سازگار با محیط زیست در جهت مدیریت پوسیدگی آرمیلاریایی و افزایش تحمل نهال‌های پسته مورد توجه قرار گیرد. ارزیابی تأثیر قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار بر بیماری پوسیدگی آرمیلاریایی در شرایط تنش خشکی و و ارزیابی واکنش نهال‌های پسته میکوریزی به پوسیدگی آرمیلاریایی و شوری در شرایط باغ، برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

از پژوهشکده پسته بابت فراهم نمودن شرایط اجرای این تحقیق، تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

- امیراحمدی، علیرضا؛ خباز جلفایی، حسین و آصف، محمد رضا (۱۳۸۵). اولین گزارش از قارچ *Armillaria mellea* Kummer (Vahl: Fr.) روی پسته، انار، انجیر و زردآلو در ایران. هفدهمین کنگره گیاهپزشکی، کرج، ایران. صفحه ۴۱۰.
- باقرزاده، الهه؛ کاوسی، حمید رضا؛ خضری، مسعود و میرزایی، سعید (۱۳۹۵). مطالعه الگوی بیان پروتئین و برخی خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی در پایه‌های پسته بادامی سفید و بادامی زرد تحت تنش شوری. *مجله بیوتکنولوژی کشاورزی*، ۸ (۳)، ۱۵-۳۲.
- بهمنش، زینب؛ علایی، حسین؛ محمدی، امیرحسین و دشتی، حسین (۱۳۹۸). تأثیر میکوریز آربوسکولار *G. intraradices* و *G. mosseae* بر پوسیدگی فیتوفتورایی ریشه پسته در شرایط تنش شوری. *دانش گیاهپزشکی ایران*، ۵ (۲)، ۱۹۷-۲۱۲.
- بی نام (۱۴۰۲). محصولات باغی، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران.
- حسینی، حلیه؛ پنجه که، ناصر و علایی، حسین (۱۳۹۵). اثر قارچ ریشه (میکوریز) *Glomus moseae* بر بوته‌میری پیتومی خیار تحت تنش شوری. *دانش گیاهپزشکی ایران*، ۵ (۲)، ۱۳۹-۱۴۹.
- رضایی چپانه، اسماعیل؛ جمالی، موسی؛ پیرزاد، علیرضا و توفیق، سمیرا (۱۳۹۵). تأثیر قارچ میکوریز بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد مرزه تابستانه *Satureja lortensis* L. فرایند و کارکرد گیاهی، ۵ (۱۷)، ۱۵-۲۹.
- شمشیری، محمدحسین (۱۴۰۱). تأثیر قارچ ریشه‌ای آربوسکولار بر افزایش مقاومت نهال‌های UCB1 به تنش شوری. *علوم و فناوری پسته*، ۷ (۱۳)، ۵۶-۳۸.
- شمس‌الدین سعید، فاطمه؛ رادمان، ناصر؛ محمدی، امیرحسین؛ پیرنیا، مهدی و طاهری، عبدالحسین (۱۴۰۰). تأثیر قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار *Trichoderma harzianum* و ترکیب آن‌ها بر پوسیدگی فیتوفتورایی ریشه نهال‌های پسته رقم ممتاز: ویژگی‌های رشدی، تغذیه‌ای و بیوشیمیایی. *آفات بیماری‌های گیاهی*، ۸۹ (۲)، ۲۳۴-۲۵۵.
- فتاحی، مسعود؛ محمدخانی، عبدالرحمان؛ شیران، بهروز؛ بانی نسب، بهرام و راوش، رودابه (۱۴۰۰). بررسی اثر همزیستی قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر برخی پایه‌های پسته در شرایط تنش شوری و خشکی. *به زراعی کشاورزی*، ۲۳ (۳)، ۴۶۷-۴۸۲.
- محمدی، امیر حسین؛ بنی‌هاشمی، ضیاءالدین ۱۳۸۷. تأثیر سطوح مختلف کلرید سدیم بر بیماری پژمردگی ورتیسیلیومی پسته در محیط آبکشت. *تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی*، ۱۲ (۴۵)، ۲۴۸-۲۳۹.
- محمدی، امیر حسین؛ حقدل، معصومه؛ میر ابوالفتحی، منصوره؛ علایی، حسین (۱۴۰۱). بیماری پوسیدگی آرمیلاریایی ریشه و طوقه در باغ‌های پسته. *دانش بیماری‌شناسی گیاهی*، ۱۱ (۲)، ۹۲-۱۰۲.
- مؤمن پور، علی؛ ایمانی، علی و بخشی، داوود (۱۳۹۷). تأثیر صفت شوری بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی چهار رقم بادام. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۲ (۲)، ۲۰۱-۲۱۵.
- میرفتاحی، زهرا؛ روزبان، محمد رضا؛ کریمی، سهیل؛ توللی، وحید؛ علی نیایی فرد؛ ساسان (۱۳۹۷). ارزیابی تحمل به شوری دانه‌های پسته با بررسی رشد، آسیب‌های اکسیداتیو و ترکیب عناصر معدنی. *تولیدات گیاهی*، ۱۴ (۲)، ۱۳-۲۸.

REFERENCES

- Abbaspour, H., Pour, F. S. N., & Abdel-Wahhab, M. A. (2021). Arbuscular mycorrhizal symbiosis regulates the physiological responses, ion distribution and relevant gene expression to trigger salt stress tolerance in pistachio. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27, 1765–1778. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01043-w>.
- Afshar, A. S., & Abbaspour, H. (2023). Mycorrhizal symbiosis alleviate salinity stress in pistachio plants by altering gene expression and antioxidant pathways. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 29(2), 263–276. <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01279-8>.
- Aguk, J. A., Karanja, N., Schulte-Geldermann, E., Bruns, C., Kinyua, Z., & Parker, M (2018). Control of bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) in potato (*Solanum tuberosum*) using rhizobacteria and arbuscular mycorrhiza fungi. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 18, 13371–13387. <https://doi.org/10.18697/ajfand.82.16905>.
- Ahmed, W. Kh., Alsalam, H. A. A., Mohammed, A. T., & Yousef, H. M. (2023). Evaluation of the

- effectiveness of some mycorrhizal fungi isolates against charcoal rot disease. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33, 104. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00747-3>.
- Alotaibi, M. O., Saleh, A. M., Sobrinho, R. L., Sheteiwy, M. S., El-Sawah, A. M., Mohammed, A. E., & Elgawad, H. A. (2021). Arbuscular mycorrhizae mitigate aluminum toxicity and regulate proline metabolism in plants grown in acidic soil. *Journal of Fungi*, 7(7), 531. <https://doi.org/10.3390/jof7070531>.
- Amirahmadi, H., Khabbaz Jolfaee, H., & Asef, M. R. (2006). First report of *Armillaria mellea* on pistachio, apricot, pomegranate and fig from Iran, Proceedings of 17th Iranian Plant Protection Congress, Karaj, Iran, p.410.
- Anonymous (2023). Horticultural products, Ministry of Agriculture -Jahad, Deputy of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center, Tehran. (In Persian).
- Athar, H-u-R., Zulfiqar, F., Moosa, A., Ashraf, M., Zafar, Z. U., Zhang, L., Ahmed, N., Kalaji, H. M., Nafees, M., Hossain, M. A., Islam, M. S., El Sabagh, A., & Siddique, K. H. M. (2022). Salt stress proteins in plants: An overview. *Frontier of Plant Science*, 13, 999058. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.999058>.
- Bagherzadeh, E., Kavosi, H. R., Khezri, M., & Mirzaei, S. P. (2016). Study of protein expression pattern and some morphological and biochemical characteristics of Badami-Sefid and Badami-Zarand pistachio rootstocks under salt stress. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 8(3), 15-32. <https://doi.org/10.22103/jab.2016.1543>. (In Persian).
- Bais H. P., Weir T. L., Perry L. G., Gilroy S., Vivanco J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 233-66. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159>.
- Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140, 104095. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>.
- Balal, R. M., Ashraf, M. Y., Khan, M. M., Jaskani, M. J., & Ashfaq, M. (2011). Influence of salt stress on growth and biochemical parameters of citrus rootstocks. *Pakistan Journal of Botany*, 43(4), 2135-2141.
- Baumgartner, K., & Rizzo, D. M. (2006). Relative resistance of grapevine rootstocks to *Armillaria* root disease. *American journal of enology and viticulture*, 57, 408-414. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.4.408>.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>.
- Behmanesh, Z., Alaei, H., Mohammadi, A. H., & Dashti, H. (2019). Effect of arbuscular mycorrhizas *Glomus intraradices* and *Glomus mosseae* on pistachio root rot caused by *Phytophthora* under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 50(2), 197-212. <https://doi.org/10.22059/ijpps.2019.226669.1006785>. (In Persian).
- Birem, F., Alcántara-Vara, E., & Lopez-Escudero, F. J. (2016). Water consumption and vegetative growth progress in resistant and susceptible olive cultivars infected by *Verticillium dahliae*. *Agricultural Sciences* 7, 230-238. <https://doi.org/10.4236/as.2016.74023>.
- Boorboori, M. R., & Lacko'ova, L. (2025). Arbuscular mycorrhizal fungi and salinity stress mitigation in plants. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1504970. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1504970>.
- Boutaj, H., Chakhchar, A., Meddich, A., Wahbi, S., Alaoui-Talibi, E., Douira, A., & El Modafar, C. (2020). Bioprotection of olive tree from *Verticillium* wilt by autochthonous endomycorrhizal fungi. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127(3), 349-357. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00323-z>.
- Calvet, C., Garcia-Figueres, F., Lovato, P., & Camprubi, A. (2015). Role of the arbuscular

- mycorrhizal symbiosis in tolerance response against *Armillaria mellea* in lavender. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(3), e1008. <https://doi.org/10.5424/sjar/2015133-7677>.
- Camprubí, A., Estaún, V., Nogales, A., García-Figueroes, F., Pitet, M., & Calvet, C. (2008). Response of the grapevine rootstock richter 110 to inoculation with native and selected arbuscular mycorrhizal fungi and growth performance in a replant vineyard. *Mycorrhiza*, 18(4), 211-216. <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0168-3>.
- Chandrasekaran, M., Chanratana, M., Kim, K., Seshadrim, S., & Sa, T. (2019). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, water status, and gas exchange of plants under salt stress- a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 457. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00457>.
- Devkota, P., & Hammerschmidt, R. (2020). The infection process of *Armillaria mellea* and *Armillaria solidipes*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 112, 101543. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2020.101543>.
- Diao, F., Dang, Z., Cui, X., Xu, J., Jia, B., Ding, S., Zhang, Z. H., & Guo, W. (2021). Transcriptomic analysis revealed distinctive modulations of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation in halophyte *Suaeda salsa* under moderate salt conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 183(4), 104337. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104337>.
- Dong, S., Zhou, X., Qu, Z., & Wang, X. (2023). Effects of drought stress at different stages on soluble sugar content of soybeans. *Soil, Plant Environment*, 69(11), 500-511. <https://doi.org/10.17221/385/2023-PSE>.
- Duc, N. H., Vo, A. T., Haddidi, I., Daoood, H., & Posta, K. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi improve tolerance of the medicinal plant *Eclipta prostrata* (L.) and induce major changes in polyphenol profiles under salt stresses. *Frontiers in Plant Science*, 11, 612299. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.612299>.
- Evelin, H., Devi, T. S., Gupta, S. & Kapoor, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: current understanding and new challenges. *Frontiers in Plant Science*, 10, 450967. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00470>.
- Fabro, G., Kovács, I., Pavet, V., Szabados, L. & Alvarez, M. E. (2004). Proline accumulation and AtP5CS2 gene activation are induced by plant-pathogen incompatible interactions in *Arabidopsis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 17(4), 343-350. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2004.17.4.343>.
- Fattahi, M., Mohammadkhani, A., Shiran, B., Baninasab, B., & Ravash, R. (2021). Evaluation of the Symbiotic Effect of Mycorrhiza Arbuscular on Some Pistachio Rootstocks under Salinity and Drought Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 23(3), 667-682. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.297988.2352>. (In Persian).
- Gao, T., Liu, X., Shan, L., Wu, Q., Liu, Y., Zhang, Z., Li, Ch., & Ma, F. (2020). Dopamine and arbuscular mycorrhizal fungi act synergistically to promote apple growth under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 178, 104159. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104159>.
- Garmendia, I., Goicoechea, N., & Aguirreolea, J. 2004. Effectiveness of three *Glomus* species in Protecting pepper (*Capsicum annum* L.) Against *Verticillium* wilt. *Biological control*, 31, 296-305. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.04.015>
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84 (3), 489-500. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>.
- Halim, V.; Vess, A.; Scheel, D., & Rosahl, S. 2008. The role of salicylic acid and jasmonic acid in pathogen defence. *Plant Biology*, 8, 307-313. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924025>
- Hare, P. D., & Cress, W. A. (1997). Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, 21, 79-102. <https://doi.org/10.1023/A:1005703923347>.
- Hashemi, M., Tabet, D., Sandroni, M., Benavent-Celma, C., Seematti, J., Andersen, C. B., & Grenville-Briggs, L. J. (2022). The hunt for sustainable biocontrol of oomycete plant pathogens, a case study of *Phytophthora infestans*. *Fungal Biology Review*, 40, 53-69.

- <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.003>.
- Heinzelmann, R., Dutech, C., Tsykun, T., Labbé, F., Soularue, J. P., & Prospero, S. (2019). Latest advances and future perspectives in *Armillaria* research. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 41(1), 1-23. <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1558284>.
- Hosseyni, H., Panjehkeh, N., & Allaei, H. (2016). Effect of *Glomus mosseae* on cucumber damping off caused by *Pythium* under salinity stress. *Biological control of pests and plant diseases*, 5(2), 139-149. <https://doi.org/10.22059/jbioc.2016.59914>. (In Persian).
- Idris, I., Agusdin Dharma Fefirenta, A. D., Kartika Sari, V., & Sudiana, I. M. (2022). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Induced Different Proline Accumulations in Two Sorghum Accessions in Response to Drought Stress. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 68 (3), 127–142. <https://doi.org/10.2478/agri-2022-001>
- Irigoyen, J., Einerich, D., & Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>.
- Jamali Paghaleh, J., Radman, N., Mohammadi, A. H., Pirnia, M., & Taheri, A. H. (2022). The effect of arbuscular mycorrhizae on *Verticillium* wilt of pistachio rootstocks Ahmad Aghaei and Badami Zarand: growth, nutritional and biochemical characteristics. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 53(2), 107-123. <https://doi.org/10.22059/IJPPS.2022.348955.1007010>. (In Persian)
- Jamshidi Goharrizia, k., Amirmahanib, F., & Salehic, F. (2020). Assessment of changes in physiological and biochemical traits in four pistachio rootstocks under drought, salinity and drought and salinity stresses. *Physiologia Plantarum*, 168 (4), 973-989 <https://doi.org/10.1111/ppl.13042>.
- Janah, I., Abdelilah, M., Elhasnaoui, A., Khayat, S., Anli, M., Boutasknit, A., Aissam, S., & Lotfi, K. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi mitigates salt stress toxicity in *Stevia rebaudiana* Bertoni through the modulation of physiological and biochemical responses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(3), 152–162. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00690-y>.
- Kang, B. H., Kim, W. J., Chowdhury, S., Moon, C. Y., Kang, S., Kim, S. H., Jo, S. H., Jun, T. H., Kim, K. D., & Ha, B. K. (2023). Transcriptome analysis of differentially expressed genes associated with salt stress in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) during the early vegetative stage. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4762. <https://doi.org/10.3390/ijms24054762>.
- Kucukyumuk, Z., Ozgonen, H., & Erdal, J. (2013). Influence of zinc and mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on plant yield, nutrient concentrations and control of *Phytophthora* blight of pepper. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11(3&4), 807-812. <https://doi.org/10.1234/4.2013.4753>.
- Li, M., Perez-Limón, S., Ramírez-Flores, M. S., Barrales-Gamez, B., Meraz-Mercado, M. A., Ziegler, G., Baxter, I., Olalde-Portugal, V., & Sawers, R. J. H. (2023). Mycorrhizal status and host genotype interact to shape plant nutrition in field grown maize (*Zea mays* ssp. *mays*). *Mycorrhiza*, 33(5-6), 345–358. <https://doi.org/10.1007/s00572-023-01127-3>.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
- Lin, P., Zhang, M., Wang, M., Li, Y., Liu, J., & Chen, Y. (2021) Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus modulates defense-related genes expression in banana seedlings susceptible to wilt disease. *Plant Signaling and Behavior*, 16(5), 1884782. <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1884782>.
- Liu, H. G., Wang, Y. J., Hart, M., Chen, H. & Tang, M. (2016). Arbuscular Mycorrhizal symbiosis regulates hormone and osmotic equilibrium of *Lycium barbarum*. *Mycosphere*, 7(6), 828-843. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/7/6/14>.

- Maya, M. A., & Matsubara, Y. I. (2013). Tolerance to *Fusarium* wilt and *Anthrachnose* disease and changes of antioxidative activity in mycorrhizal cyclamen. *Crop protection*, 47, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.01.007>.
- Mirfattahi, Z., Roozban, M. R., Karimi, S., Tavallali, V., & Aliniaefard, S. (2018). Screening Salt Tolerance in Pistachio Seedlings by Evaluating Growth, Oxidative Damages and Mineral Composition. *Plant Production*, 41(2), 13-28. <https://doi.org/10.22055/ppd.2018.18881.1371>. (In Persian).
- Mirtalebi, M. & Banihashem, Z. (2019). Effect of Salinity on Root Rot of *Cucumis melo* L. Caused by *Phytophthora melonis*. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(1), 209-220. <https://doi.org/20.1001.1.16807073.2019.21.1.10.9>.
- Mohammadi, A., & Banihashemi, Z. (2008). Effect of different levels of sodium chloride on *Verticillium* wilt disease of pistachio in water culture environment. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(45), 239-248. <https://doi.org/20.1001.1.22518517.1387.12.45.21.3>. (In Persian).
- Mohammadi, A., Banihashemi, Z., & Maftoun, M. (2007). Interaction between salinity stress and *Verticillium* wilt disease in three pistachio rootstocks in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 30(2), 241-252. <https://doi.org/10.1080/01904160601118000>.
- Mohammadi, A. H., Haghdel, M., Mirabolfathy, M., & Alaei, H. (2022) *Armillaria* root and crown rot disease in pistachio orchards. *Plant Pathology Science*, 11(2), 92 -102. <https://doi.org/10.52547/pps.11.2.92>. (In Persian).
- Momenpour, A., imani, A., & bakhshi, D. (2019). Effect of Salinity Stress on Some Biochemical Characteristics Four Genotypes of Almond (*Prunus dulcis*). *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(2), 201-215. <https://doi.org/10.22092/jwra.2018.116954>. (In Persian)
- Mousavi, A., Lessani, H., Babalar, M. A., Talaei, R., & Fallahi, E. (2008). Influence of salinity on chlorophyll, leaf water potential, total soluble sugars and mineral nutrients in two young olive plants. *Journal of Plant Nutrition*, 31(11), 1906-1916. <https://doi.org/10.1080/01904160802402807>.
- Mustapha, T., Baita, H. U., Danazumi, I. A., Auyo, M. I., Kutama, A.S. 2022. Soil Salinity is a Serious Environmental Threat to Plant Diseases. A review. *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(4b),1-8. <https://doi.org/10.4314/dujopas.v8i4b.1>.
- Naeini, M. R., Khoshgoftarmanesh, A. H., & Fallahi, E. (2006). Partitioning of chlorine, sodium and potassium and shoot growth of three pomegranate cultivars under different levels of salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 29 (10), 1835-1843. <https://doi.org/10.1080/01904160600899352>.
- Nogales, A. and Aguirreolea, J., Santa María, E., Camprubí, A. & Calvet, C. (2009a). Response of mycorrhizal grapevine to *Armillaria mellea* inoculation: disease development and polyamines. *Plant and Soil*, 317(1), 177–187. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9799-6>.
- Nogales, A., Luque, J., Estaún, V., Camprubi, A., Garcia-Figueres, F., & Calvet, C., (2009b) . Differential growth of mycorrhizal field-inoculated grapevine rootstocks in two replant soils. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60, 484-489.
- Nogales, A., Camprubi, A., Estaún, V., Marfá, V., & Calvet, C., (2010). In vitro interaction studies between *Glomus intraradices* and *Armillaria mellea* in vines. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(S1), S62-S68. <https://doi.org/10.5424/sjar/201008S1-1223>.
- Norouzi, k., Jalil, K. h., & Youbert, G. (2011). Arbuscular Mycorrhizal fungi and biological control of *Verticillium* wilted cotton plants. *Archives of Phytopathology and Plant protection*, 44(10), 933-942. <https://doi.org/10.1080/03235400903395484>.
- Porcel, R., Aroca, R. M., & Ruiz-lozano, J. M. (2012). Salinity stress allevation using arbuscular mycorrhizal fungi. *Agronomy for sustainable Developmant*, 32, 181-200. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0029-x>.
- Pu, C., Ge, Y., Yang, G., Zheng, H., Guan, W., Chao, Z. , Shen, Y. , Liu, S., Chen, M., & Huang, L. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance disease resistance of *Salvia miltiorrhiza* to

- Fusarium* wilt. *Frontiers in plant science*, 13, 975558. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.975558>.
- Qamar, A., Mysore, K. S., & Senthil-Kumar, M. (2015). Role of proline and pyrroline-5-carboxylate metabolism in plant defense against invading pathogens. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00503>.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Jamali, M., Pirzad, A., & Tofiq, S. (2016). Effect of mycorrhizal fungi on some morphophysiological characters and yield of Summer savory (*Satureja hortensis* L.) in condition salt stress. *Journal of Plant Process and Function*, 5(17), 15-28. <https://doi.org/20.1001.1.2322727.1396.6.19.20.8>. (In Persian).
- Rogan, C. J., Pang, Y., Mathews, S. D., Turner, S. E., Weisberg, A. J., Lehmann, S., Rentsch, D. & Anderson, J. C. (2024). Transporter-mediated depletion of extracellular proline directly contributes to plant pattern-triggered immunity against a bacterial pathogen. *Nature Communication*, 15, 7048. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51244-6>.
- Serrano, I., Audran, C. & Rivas, S. (2016). Chloroplasts at work during plant innate immunity. *Journal of Experimental Botany*, 67, 3845–3854. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw088>.
- Shamsaddin saeed, F., Radman, N., Mohammadi, A. H., Pirnia, M., & Taheri, A. H. (2022). The effect of arbuscular mycorrhizas, *Trichoderma harzianum* and their combination on *Phytophthora* root rot of pistachio seedlings cv. Momtaz: growth, nutritional and biochemical characteristics. *Entomology and Pathology*, 89(2), 243-255. <https://doi.org/10.22092/JAEP.2021.356180.1416>. (In Persian).
- Shamshiri, M. H. (2023). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungus on Resistance Enhancement of UCB1 Plants to Salt Stress. *Journal of Pistachio Science and Technology*, 7 (13), 38-56. (In Persian).
- Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F., & Huang, Y. (2008). Influence of arbuscular mycorrhizae on photo synthesis and water status of maize plant under salt stress. *Mycorrhiza*, 18, 287-296. <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0180-7>.
- Shukla, A., Dehariya, K., Vyas, D., & Jha, A. (2014). Interactions between arbuscular mycorrhizae and *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*: effects on fungal development, seedling growth and wilt disease suppression in *Cicer arietinum* L. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48 (3), 240–252. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.884831>.
- Soleimani, S., Abbaspour, H., & Mohammadi Nafchi, A. R. (2016). Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to growth, biomass and nutrient status of Pistachio seedling under saline condition. *Journal of nuts*, 7(1), 67-74. <https://doi.org/10.22034/jon.2016.522955>.
- Sowik, I., Borkowska, B., & Markiewicz, M. (2016). The activity of mycorrhizal symbiosis in suppressing Verticillium wilt in susceptible and tolerant strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.) genotypes. *Applied Soil Ecology*, 101, 152-164. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.01.021>.
- Tchameni, S. N., Ngonkeu, M. E. L., Begoude, B. A. D., Wakam Nana, L., Fokom, R., Owona, A. D., Mbarga, J. B., chana, T. T., Tondje, P. R., Etoa, F. X., & Kuaté, J. (2011). Effect of *Trichoderma asperellum* and arbuscular mycorrhizal fungi on cacao growth and resistance against black pod disease. *Crop protection*, 30(10), 1251-1384. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.05.003>.
- Tarraf, W., Ruta, C., Tagarelli, A., De Cillis, F., & De Mastro, G. (2017). Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 102, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.010>.
- Van, Breusegem, F., James, F., & Dat, J. F. (2006). Reactive Oxygen Species in Plant Cell Death. *Plant Physiology*, 141 (2), 384–390. <https://doi.org/10.1104/pp.106.078295>.
- Vos, C. M., Yang, Y., De Coninck, B., & Cammue, B. P. A. (2014). Fungal (like) biocontrol organisms in tomato disease control. *Biological control*, 74, 65–81.

- <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.04.004>.
- Wang, F., Yang, S., Wei, Y., Shi, Q., & Ding, J. (2021). Characterizing soil salinity at multiple depth using electromagnetic induction and remote sensing data with random forests: A case study in Tarim River Basin of southern Xinjiang, China. *Science of the Total Environment*, 754, 142030. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142030>.
- Wang, H., Hao, Z., Zhang, X., Xie, W., & Chen, B. (2022). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Induced Plant Resistance against *Fusarium* Wilt in Jasmonate Biosynthesis Defective Mutant and Wild Type of Tomato. *Journal of Fungi*, 8 (5), 422. <https://doi.org/10.3390/jof8050422>.
- Watanarojanaporn, N., Boonkerd, N., Wongkaew, S., Prommanop, P., & Tequmroong, N. (2011). Selection of aebuscular mycorrhizal fungi for citrus growth promotion and *Phytophthora* suppression. *Sientia Horticulture*, 128(4), 423-433. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.007>.
- Weng, W., Yan, J., Zhou, M., Yao, X., Gao, A., Ma, C., & Ruan, J. (2022). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi as a biocontrol agent in the control of plant diseases. *Microorganisms*, 10 (7), 1266. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071266>.
- Worral, J. J. (1991). Media for selective isolation of *Hymenomycetes*. *Mycologia*, 83(3), 296-302. <https://doi.org/10.1080/00275514.1991.12026013>.
- Yanan, W., Xusheng, A., Baozhong, Y., Wenchao, Z., & Jintang, G. (2015). Biochemical defences induced by mycorrhizae fungi *Glomus mosseae* in controlling strawberry *Fusarium* wilt. *Open Biomedical Engineering Journal*, 9, 301–304. <https://doi.org/10.2174/1874120701509010301>.